



TITLE:

リニアック搭載型kV-X線撮像システムによる放射線治療の高精度化に関する研究(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

伊良皆, 拓

CITATION:

伊良皆, 拓. リニアック搭載型kV-X線撮像システムによる放射線治療の高精度化に関する研究. 京都大学, 2018, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2018-03-26

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21102>

RIGHT:

京都大学	博士（工学）	氏名	伊良皆拓
論文題目	リニアック搭載型 kV-X 線撮像システムによる放射線治療の高精度化に関する研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は放射線治療装置(リニアック)に搭載されているkV-X線撮像システムの新たな応用法に関して、得られた成果をまとめたものであり、6章からなっている。</p> <p>はじめに第1章では、放射線治療及びkV-X線撮像システムの役割を放射線治療当日の流れとともに示し、患者位置決め精度の向上や放射線照射中の腫瘍の動きを検出する方法の重要性を明確にしたうえで、各章の位置づけを示した。</p> <p>第2章では、放射線治療装置の構造やkV-X線を用いたコンピュータ断層撮影法(CT)の発展と画像再構成法を概説している。さらに本論文の主な開発項目である三次元コーンビームCT(CBCT)に呼吸位相情報を取り入れた四次元CBCT画像再構成法、デュアルエネルギー撮像法についても解説している。</p> <p>第3章では、リニアック搭載型kV-X線撮像システムにおける簡便なデュアルエネルギー撮像法を提案し、卓上CBCT撮像システムを用いて金属アーチファクト低減性能を評価した結果を記述している。義歯や大腿骨頭などを置換した金属が腫瘍付近に存在する場合、照射直前の患者の位置決め用いるCBCT画像上でアーチファクトが発生し、正確な位置決めができず誤照射の原因となる。金属アーチファクトを抑制する方法として第2章で述べたデュアルエネルギー撮像法があるが、特別な管球や検出器が必要となるためリニアック搭載型kV-X線撮像システムにおいては実現していない。そこで既存の撮像システムでもデュアルエネルギー撮像を実現可能な方法として、2種類の金属フィルタを用いた方法を開発した。開発した方法を用いることで金属アーチファクトを有効に低減できることを示した。</p> <p>第4章では、呼吸性移動を伴う腫瘍の三次元的な動きを再構成可能である呼吸位相情報を含んだ四次元CBCTの開発について述べている。四次元CBCTは放射線照射直前に撮像することで、治療当日の標的の動きを得ることができる。リニアック搭載型kV-X線撮像システムによる四次元CBCTは他研究者によって研究が行われてきたが、再構成された標的の位置精度について、実際の三次元位置と比較したものはなかった。これは1管球型の撮像システムを用いていたために、撮像中の三次元標的位置を得ることができなかったためである。そこで2管球型の撮像システムによる四次元CBCTを開発し、三角測量により撮像中の三次元標的位置を求め、再構成された標的位置と比較した。再構成する方法は第2章で述べており、体外または体内の呼吸信号の代わりとなるもの(サロゲート)と、サロゲートの動きを8位相にグループ分けする際の2種類の位相分け方法の組み合わせがある。ファントム実験と実臨床における患者データから呼吸信号取得法とその位相分け方法の組み合わせによる最適な再構成法を示した。また四次元CBCT画像では標的位置を過小評価していることを定量的に示し、今後の四次元CBCT研究開発における</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	伊良皆拓
<p>重要なデータを示した。</p> <p>第5章は、放射線照射中の体内の腫瘍位置を体外に置いたサロゲートの動きから推定する方法について述べている。三次元標的位置を得るには三角測量が最も有効だが、放射線照射中にはある撮像角度や撮像範囲では体内を視認できず、三角測量を行うことができない。その場合の標的位置は体外に置いたサロゲートの動きから推定する他ない。方法は、まず放射線照射直前に体外サロゲートの動きと体内標的の動きの相関モデルを作成し、照射中は体外サロゲートの動きと相関モデルから体内標的の動きを推定するものである。四次元CBCTを撮像した実臨床における患者データを用いて、相関モデルを作成するために必要な訓練時間と、時間の経過とともに標的位置のベースラインが変化するベースラインドリフトを補正する訓練時間の最適化を行った。先行研究による方法と遜色ない誤差で推定するには、両訓練時間を10秒とすればよいことが分かった。10秒とは用いた患者データのほとんどで1呼吸周期の時間である。先行研究では放射線照射中に三角測量を行う必要があったが、開発した方法は一度相関モデルを作成すると、アップデートの必要がないことが最大の特長である。</p> <p>最後に、第6章において各章の結果を総括した。第3章のデュアルエネルギー撮像法を行うことで放射線照射直前の患者位置合わせの精度が向上し、第4章及び第5章の方法を用いることで、治療当日の腫瘍の位置および動きを得ることができ、腫瘍に正確な線量が投与されているか、正常組織に過剰な線量が照射されていないかを遡及的に解析することが可能になる。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は放射線治療装置(リニアック)に搭載されている kV-X 線撮像システムの新たな応用法に関して、得られた成果をまとめたものである。本研究によって得られた主な成果は次のとおりである。

1. リニアック搭載型 kV-X 線撮像システムにおける簡便なデュアルエネルギー撮像法を提案し、卓上 CBCT 撮像システムを用いて金属アーチファクト低減性能を評価した。開発した方法で金属アーチファクトを有効に低減できることを示した。
2. リニアック搭載型 kV-X 線撮像システムを用いた 2 管球型四次元 CBCT の開発を行った。従来は CBCT 撮像中の三次元標的位置を得ることができなかったが、本研究により撮像中の三次元標的位置を得ることができ、再構成された三次元標的位置と比較し再構成精度を評価できるようになった。ファントム実験と実臨床における患者データから呼吸信号取得法とその位相分け方法の組み合わせによる最適な再構成法を示した。また四次元 CBCT 画像では標的位置を過小評価していることを定量的に示し、今後の四次元 CBCT 研究開発における重要なデータを示した。
3. 放射線照射中の体内の腫瘍位置を体外に置いたサロゲートの動きから推定する方法を開発した。放射線照射中はある撮像角度や撮像範囲では体内を視認できず、三角測量を行うことができない。その場合の標的位置は体外に置いたサロゲートの動きから推定する他ない。開発した方法を用いるために必要な訓練時間の最適化を行い、1 呼吸周期が収まる時間(約 10 秒)で十分であることを定量的に示した。開発した方法は先行研究と異なり一度相関モデルを作成すると、アップデートの必要がないことが最大の特長である。

リニアック搭載型 kV-X 線撮像システムによる放射線治療の高精度化について本論文に記した知見は、放射線治療当日における高精度な患者位置合わせ、照射直前及び照射中の標的位置の検出及び推定を可能にし、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 30 年 2 月 16 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。